

УДК 534.27: 628.8: 621.43

**О.Г. Теленкова, асистент**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Автоматизація контролю та оптимального регулювання двигунів внутрішнього згоряння по рівню газового забруднення

В статті показано необхідність створення і вдосконалення автоматизованих систем в технології контролю і оптимального регулювання двигунів внутрішнього згоряння по рівню газового забруднення. Запропонована система, в якій вперше використовується новий тип первинного перетворювача – резонатор багатомодового лазера.

**двигун внутрішнього згоряння, технологія регулювання, відпрацьовані гази, автоматизована система, паливоповітряна суміш, технічний об'єкт управління, резонатор багатомодового лазера, спектр генерації**

Автомобільний транспорт є основним джерелом (до 90%)[1] викидів, зокрема канцерогенних, речовин у місцях найбільшої концентрації людей і причиною несприятливого стану довкілля в багатьох містах України. У 2004 році викиди автомобільного транспорту в атмосферу становили більш ніж 2 млн. тонн шкідливих речовин. Наслідком цього є погіршення стану здоров'я населення та значні економічні збитки країни, що можуть бути оцінені на рівні 8 млрд. гривень щорічно. За даними ВОЗ, близько 80% зазначених збитків безпосередньо пов'язані зі здоров'ям людей, хворобами та втратою працездатності.

Постановою Верховної Ради України за №188/98-ВР «Про основні напрямки державної Політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» ще в 1998 році екологічну ситуацію в Україні було визнано кризовою.

Усвідомлення світовою спільнотою екологічних проблем призвело до того, що на початку 21-го століття у більшості розвинених країн світу введено жорсткі екологічні вимоги до дорожніх транспортних засобів (ДТЗ). Країни ЄС, США та Японія за останні роки різко знизили допустимі рівні викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах (ВГ) автомобільних двигунів. У країнах ЄС з 01. 01. 2005 р. запроваджено рівень «Євро-4». У США та Японії введено аналогічні норми. Китай ввів вимоги рівня «Євро-2».

У 2004 році було розроблено проект Закону України «Про запровадження в Україні міжнародних екологічних вимог до автомобілів» №5486 від 11.05. 2004 р. [2], відповідно з яким в Україні мають бути запроваджені екологічні вимоги «Євро-2» до нових легкових автомобілів та легкових автомобілів, що були у користування та ввозяться в Україну.

Слід звернути увагу на те, що розвинені країни світу не тільки зменшують норми викидів шкідливих речовин, але й постійно вдосконалюють (роблять більш жорсткими) самі процедури їх визначення (випробування), що комплексно охоплюють усі аспекти функціонування автомобіля: оцінюють та нормують за складними випробувальними процедурами не лише викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах під час руху автомобіля, але й випаровування вуглеводнів з паливної системи автомобіля; ускладнюють умови випробувань, наприклад, запровадженням циклу випробувань з «холодним стартом» (відсутній попередній прогрів двигуна) та

випробуванням ДТЗ, який разом із стендом перебуває у кліматичній камері при температурі  $-7^{\circ}$ ; введені обов'язкові вимоги щодо комп'ютерних систем бортової діагностики ДТЗ і передбачено відповідний комплекс заходів щодо підтримання високого екологічного рівня систем ДТЗ протягом усього строку експлуатації.

Виходячи з вимог до рівня шкідливих речовин в відпрацьованих газах двигуна, основною задачею є створення та вдосконалення автоматизованої системи контролю та регулювання рівня газових викидів автомобілів, яка базується на використанні нового покоління газоаналізаторів, розроблених на чисто фізичних принципах і яка не потребує використання будь-яких реактивів, створення досконалої апаратури, яка забезпечує можливість автоматизації технологічних процесів контролю за дотриманням вимог до ДТЗ, дозволить ефективно знижувати токсичність і підвищувати паливну економічність двигунів внутрішнього згоряння, відповідно до вимог ЄС.

Основні вимоги до систем автоматичного управління: управління складним циклом функціонування технологічного об'єкту; висока мобільність; точність при високій надійності в роботі; простота конструкції і низька собівартість; дистанційність в управлінні; можливість саморегулювання в процесі управління [3].

У даний час для живлення автомобільних двигунів найбільш широко використовуються рідке та газове палива, основними складовими яких є вуглеводні. В процесі згоряння утворюються як нетоксичні (водяна пара, вуглекислий газ), так і токсичні речовини -  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$  і  $\text{NO}_x$ [4]. Використовуваний в двигунах спосіб сумішеутворення і запалювання паливоповітряної суміші значно впливає на кількість і склад шкідливих викидів. Однією з характеристик складу паливоповітряної суміші є коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  – це відношення кількості повітря, що фактично бере участь у згорянні, до кількості повітря, теоретично необхідної для повного згоряння палива. Якщо  $\alpha > 1$ , то паливо повітряна суміш бідна,  $\alpha = 1$  – стехіометрична,  $\alpha < 1$  – багата.

До експлуатаційних факторів, які мають значний вплив на токсичність двигунів, належать склад паливоповітряної суміші, навантаження двигуна, частота обертання, кут випередження запалювання або вприскування палива. Однією з основних причин викидів  $\text{CO}$  і  $\text{C}_n\text{H}_m$  двигунами з іскровим запалюванням є використання збагаченої паливоповітряної суміші на більшості режимів роботи. Тому основним напрямком удосконалення бензинових і газових двигунів є розробка заходів щодо забезпечення їх стійкої роботи на збіднених паливоповітряних сумішах.

Побудова системи управління технологічним процесом регулювання двигуна повинна забезпечити зміну рівня газоподібних викидів  $\text{CO}$  і  $\text{C}_n\text{H}_m$ .

Технологічний процес регулювання двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) для зниження концентрації  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$  і  $\text{NO}_x$  передбачає реалізацію наступних регулюючих дій:

- зміна складу паливоповітряної суміші, регулюванням положення дросельної заслінки;
- регулювання кута випередження запалювання або вприскування палива.

Виходячи з поставленої проблеми, може бути сформульована задача розробки автоматизованої системи управління, яка формує значення необхідного рівня концентрації домішок відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згоряння, і підсистеми інтелектуальної підтримки прийняття рішень при умові невизначеності з обчислювальним комплексом, який виконує інформаційні функції і функції інтелектуальної підтримки прийняття рішень при управлінні. Спрощена структурна схема такої АСУТП представлена на рис.1.

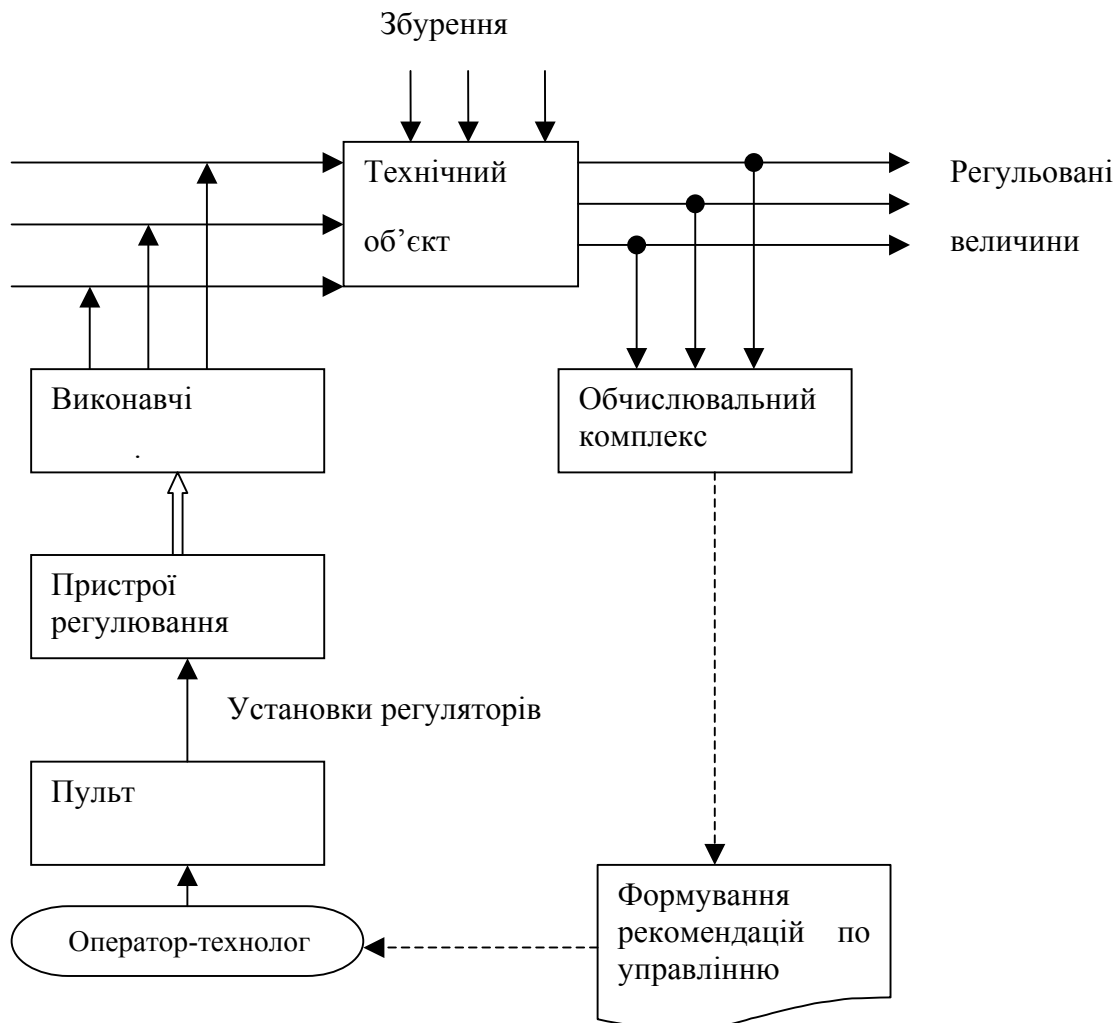


Рисунок 1 – Структурна схема АСУТП з обчислювальним комплексом, який виконує інформаційні функції і функції інтелектуальної підтримки прийняття рішень при управлінні

Регулююча дія на технічний об'єкт управління (ТОУ) – двигун внутрішнього згоряння забезпечує створення в камері згоряння нерівномірного складу паливоповітряної суміші - збагаченої в зоні свічки, що призводить до надійного спалахнення збідненої суміші. До регулюючих входних координат ТОУ відносяться: кількість поступаємого повітря, кількість паливоповітряної суміші, кут випередження запалювання.

Завдання значень регулюємих параметрів, які підтримують режим технологічного процесу регулювання двигуна, повинно виконуватися при врахуванні кількості утворюваних викидів, які є допустимими з точки зору вимог екології. Таким чином, разом з вимогами підтримки повного згоряння паливоповітряної суміші, вихідною керованою величиною в функціонуючій системі управління повинна являтися концентрація шкідливих домішок у викидах двигуна.

Звідси витікає задача визначення концентрацій газових домішок в відпрацьованих газах ДВЗ в режимі реального часу.

Важливим елементом автоматизованої системи моніторингу відпрацьованих газів вперше обрано новий тип первинного перетворювача – резонатор багатомодового лазера, спектр генерації якого має підвищену чутливість до наявності ліній поглинання досліджуваних газів. Аналітичний опис фізичних основ процесів, що протікають, викладено в рамках методу внутрішньорезонаторної спектроскопії (ВРЛС) [5]. В цьому

методі дослідна речовина розміщується в середині резонатора широкосмугового лазера. Для видимого діапазону спектру можуть бути використані лазери на розчинах органічних барвників, для близького ІЧ діапазону - лазери на центрах забарвлення лужно-галоїдного кристалу. В принципі резонатор такого лазера подібний до багатоходової кювети. Втрати, обумовлені наявністю ліній поглинання з шириною, менше ширини однорідного контуру підсилення активного середовища, не компенсуються, а проявляються як провали в спектрі генерації лазера, які відповідають лініям поглинання дослідної речовини, а глибина пов'язана з концентрацією.

При спеціальному частотно-неселективному резонаторі стає можливим спостерігати спектр поглинання речовини, яка заповнює резонатор, при умові, що його лінії поглинання суттєво вужче однорідної ширини  $\gamma$ , але ширше міжмодової відстані.

Спектральну інтенсивність генерації можна представити у вигляді

$$I(\omega, t) = I_0(\omega, t) \cdot e^{-K_{\text{погл}}(\omega)ct}, \quad (1)$$

де  $I_0(\omega, t)$ - спектральна густина генерації при відсутності ліній поглинання;

$K_{\text{погл}}(\omega)$ - коефіцієнт поглинання вузьких спектральних ліній;

$c$ - швидкість світла.

Реєструємою величиною є експозиція (кількість енергії отриманої на одиницю поверхні за 1 імпульс генерації тривалістю  $T$ ):

$$H(\omega) = \int_0^T I(\omega, t) dt = \int_0^T I_0(\omega, t) e^{-K_{\text{погл}}(\omega)ct} dt. \quad (2)$$

Вважаючи форму імпульсу прямокутною, інтеграл (2) можна представити у вигляді:

$$H(\omega) = H_0(\omega) \frac{1 - e^{-K_{\text{погл}}(\omega)ct}}{K_{\text{погл}}(\omega)ct}, \quad (3)$$

де  $H_0(\omega)$  – спектр джерела:

$$H_0(\omega) = \int_0^T I_0(\omega, t) dt. \quad (4)$$

Вираз (3) є основним для побудови алгоритму обчислення концентрації газоподібних речовин  $n$   $\left( \frac{\text{часток}}{\text{см}^3} \right)$ , так як  $K_{\text{погл}} = \sigma(\omega) \cdot n$ , де  $\sigma(\omega)$  – переріз поглинання на даній частоті  $\omega$ ,  $n$ - концентрація газових домішок.

Метод дає можливість змінювати чутливість, варіюючи тривалістю  $T$ , дозволяє дослідити спектри поглинання газоподібних речовин з малим коефіцієнтом поглинання і ідентифікувати газові домішки, які складають менше  $10^{-5}$  частини суміші.

В даній роботі аналізуються потенціальні характеристики роботи системи при регулюванні двигуна внутрішнього згоряння на вміст монооксиду вуглецю CO.

Структурна схема автоматизованої системи контролю та сигналізації складу газової суміші при регулюванні викидів двигуна внутрішнього згоряння представлена на рис.2.

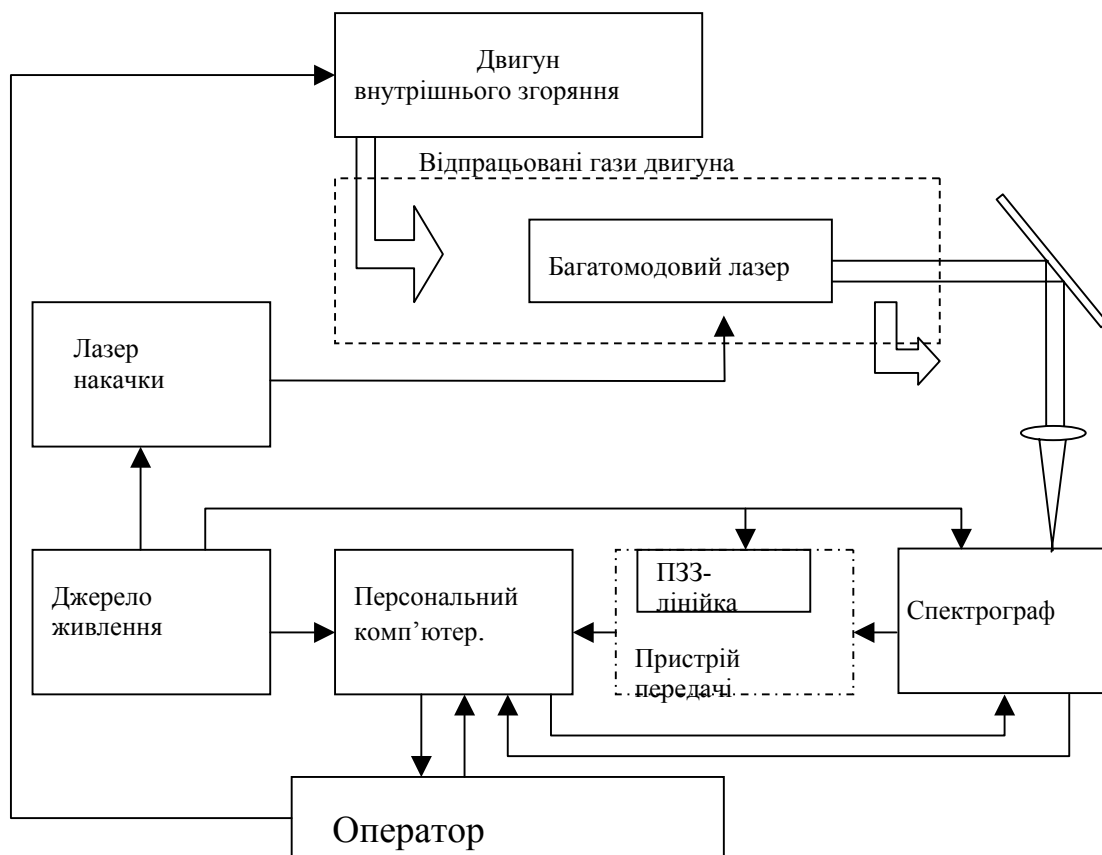


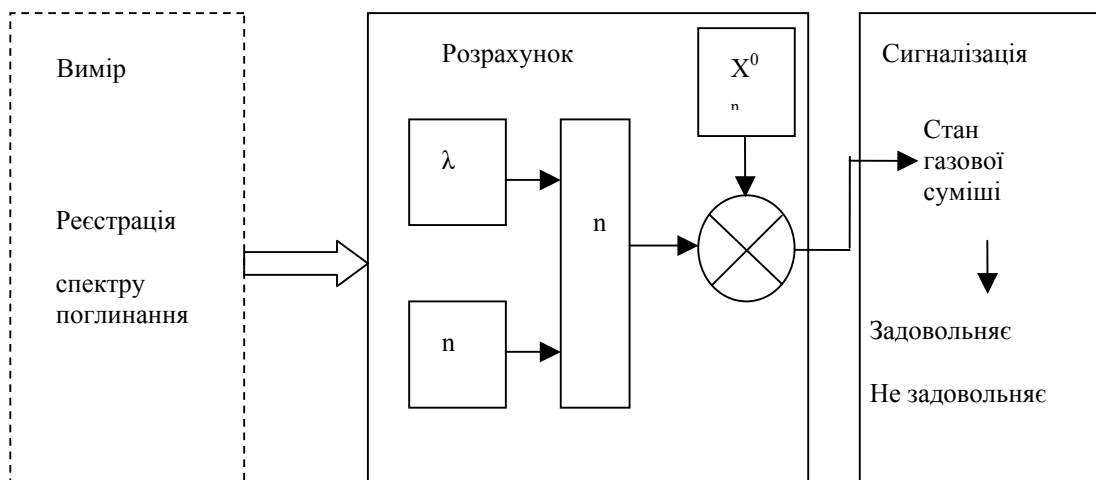
Рисунок 2 – Структурна схема автоматизованої системи контролю в оптимізації технології регулювання двигунів внутрішнього згоряння

На ній приведена схема розміщення та взаємодія вузлів пристрою. Автоматизована система складається з первинного перетворювача – резонатора багатомодового лазера, блоків живлення та накачки, спектрального блоку, в якому випромінювання розкладається за частотами, пристрою передачі інформації, блоку фотоелектричної реєстрації, персонального комп'ютера. Головна керуюча роль відводиться пристрою передачі інформації. У ньому міститься процесор, який згідно з програмою проводить опитування периферійних пристроїв та взаємодіє з контролером прямого доступу до пам'яті.

До складу оптичної частини автоматизованої системи лазерного контролю концентрацій газових технологічних сумішей відносяться дві основні частини: багатомодовий лазер з активним середовищем – лужно-галоїдним кристалом LiF з F-центрами забарвлення LiF, який займає смугу 905 -975 нм, з резонатором – первинним перетворювачем і спектральний прилад великої роздільності [6].

На рисунку 3 представлено алгоритм обробки інформації – спектру генерації багатомодового лазера та сигналізації прийнятого рішення.

Автоматизована система може працювати в наступних режимах: запуск; вимір; індикація і передача обчислених значень існуючої концентрації; корекція показників; корекція нулів сигналів; перегляд і корекція параметрів. Передача даних по послідовному каналу відбувається по закінченні циклу вимірів. Обчислення концентрації відбувається відповідно з розробленими програмами з врахуванням заданої похибки [7].



$\lambda$ ,  $\lambda$ -концентрація та довжина хвилі в даний час;  $X^0 n$ - база даних з концентрацією і довжинами хвиль поглинання необхідних газових складових

Рисунок 3 – Алгоритм обробки інформації – спектра генерації багатомодового лазера:

Алгоритм визначення максимумів поглинання і складу дослідної суміші: 1) визначення максимумів поглинання спектру (провалів) у вигляді списку частот

$$\omega_r, \dots, \omega_j, \dots, \omega_s \quad (5)$$

і відповідні цим частотам амплітуди поглинання

$$A(\omega_r), \dots, A(\omega_j), \dots, A(\omega_s), \quad (6)$$

де  $A(\omega) = H(\omega) - H_0(\omega)$ ,  $(7)$

$H_0(\omega)$  - ідеальний спектр поглинання газового середовища без дослідної речовини.

2) обчислення складу дослідної суміші. Види газів і їх концентрація обчислюються в результаті аналізу частот (5) и амплітуд (6) максимумів поглинання спектру (провалів) на основі бази даних про спектри поглинання окремих газів.

Обчислення відбувається на основі методу Ланцоша [8], аналізу емпіричних даних згладжування в цілому з допомогою розкладення в ряд Фур'є. Основою для цього є випуклість вверх ідеального спектру поглинання  $H_0(\omega)$ ..

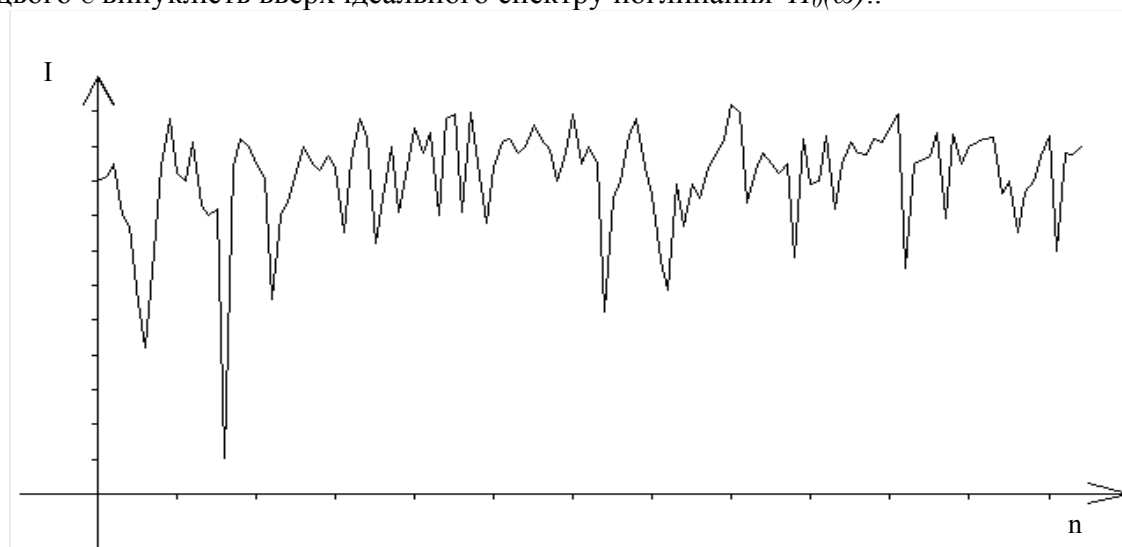


Рисунок 4 – Отриманий спектр, де  $I$  - відносна інтенсивність випромінювання,  $n$ -номер каналу

Метод Ланцоша не стійкий відносно похибок значень апроксимуємої функції в крайніх точках апроксимації. Для мінімізації цих похибок точки обрані найближчими до крайніх точок масиву частот і в цих точках значення випуклої оболонки спектру тотожно рівні значенням спектру. На рисунках 4, 5 проілюстровано роботу програми, яка визначає опуклу оболонку спектру за методом Ланцоша та обчислює індекси масиву, які відповідають максимумам поглинання.

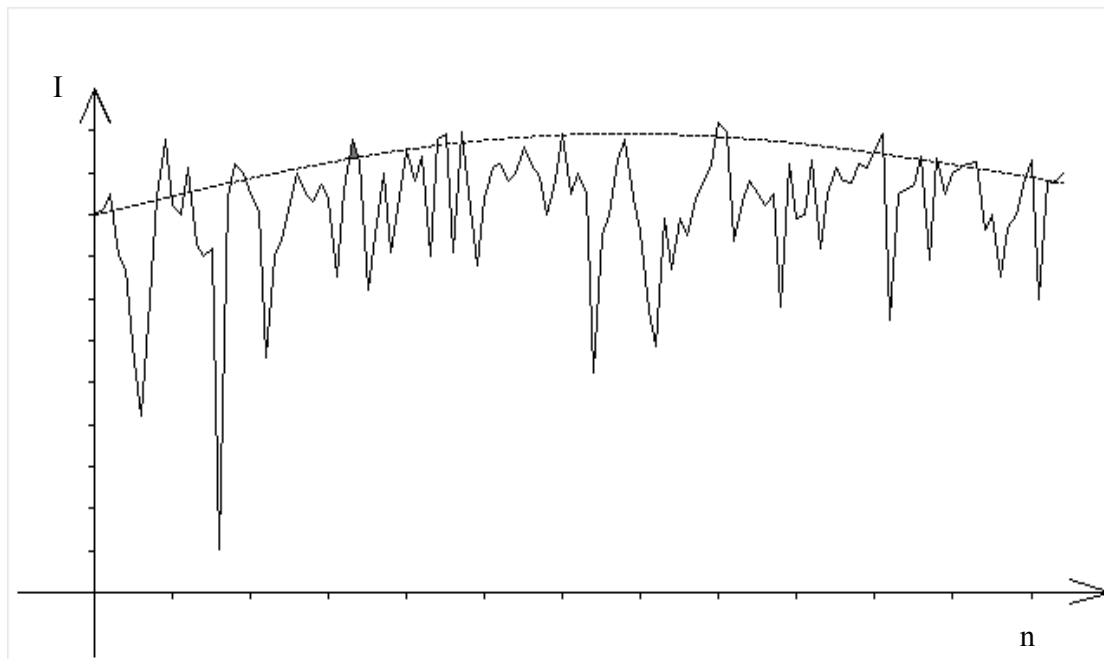


Рисунок 5 – Графік апроксимації спектру – пунктирна лінія

Відповідно до властивостей задачі, яку розв'язуємо, аналіз обробленої інформації і прийняття рішень по управлінню, виконується операторним персоналом в рамках функціонування пристрою управління. Ним же і виконується установка регулюючих пристроїв в необхідне положення і контроль за виконанням управляючих дій. В рамках функціонування АСУТП регулювання двигуна внутрішнього згоряння завдання на управління формується в границях системи і рішення на управління приймається на основі інформації про стан технологічного процесу.

Всі виміри і отримані дані відображаються на екрані ПК, діалог з оператором або механіком достатньо наочний і інформативний.

Розроблена автоматизована система контролю та оптимального регулювання двигуна внутрішнього згоряння усуває такі суттєві недоліки, як низька оперативність, неможливість реєстрації декількох газових складових одночасно.

При аналізі такого складного середовища, як газові викиди двигунів автотранспорту, вона:

- 1) забезпечує високу надійність і селективність вимірів декількох складових в широкому динамічному діапазоні;
- 2) дає можливість реєстрації низького рівня газової концентрації в режимі реального часу;
- 3) при використанні напівпровідникового лазера є можливість створення мобільного пристрою, який може працювати на рухомому автомобілі.

## Список літератури

1. Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Чигиринець А. Д. та ін.. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. У 3 кн. Кн. 1. Теоретичні основи. Технологія: Підручник.- К.: Вища шк., 1994.-342 с.: іл.
2. ДСТУ 4277:2004 «Норми і методи вимірювань вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі».
3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учеб. для втузов/ Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе и др.; Под. ред. Н. М. Капустина.- М.: Высш. шк., 2004.-415 с.
4. Саркисов О. М., Свириденков Э. А., Сучков А. Ф. Внутривибрационная лазерная спектроскопия и её применение в химической физике // Химическая физика.-1982.-№ 9.-С. 1155-1167.
5. Коротков М. В. Пробег и экологическая безопасность автомобиля// Автомобильная промышленность. - 2003.-№5.-С.8-10.
6. Гамалій В. Ф., Теленкова О. Г., Якорєва М. В. Розробка оптичного тракту автоматизованого газоаналізатору технологічних процесів// Збірник наукових праць КДТУ «Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». Кіровоград.-2003.-№13.-С.200-205.
7. Гамалій В. Ф., Денисенко П. Н., Теленкова О. Г. Интеллектуальная система лазерного контроля газовой среды // Искусственный интеллект.-2004.-№4.-С.295-302.
8. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа.- М., Физматгиз, 1957 - 584 с.

В статье показана необходимость создания и совершенствования автоматизированных систем в технологии контроля и оптимальной регуляции двигателей внутреннего сгорания по уровню газового загрязнения. Предложенная система, в которой впервые используется новый тип первичного преобразователя - резонатор многомодового лазера.

In the article the necessity of creation and perfection of the automated systems is rotined in technology of control and optimum adjusting of combustion engines on the level of gas contamination. Offered system, in which the new type of primary transformer is first used is resonator of multimode.